

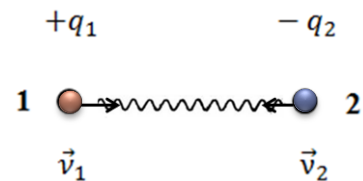
§5. Масса. Импульс. Законы Ньютона

Инертность – это свойство тел сопротивляться любым попыткам изменить их скорость.

Масса – мера инертности тел. (инертная масса)

Замкнутая (изолированная) система – это система тел, удаленная от любых других тел так, что эти тела не оказывают никакого влияния на тела системы. Тела в замкнутой системе взаимодействуют только друг с другом.

Рассмотрим замкнутую систему двух материальных точек.



Δt : $\Delta \vec{v}_1$, $\Delta \vec{v}_2$ – изменения векторов скорости первой и второй точек соответственно за данный промежуток времени.

Независимо от промежутка времени Δt и характера взаимодействия точек выполняется:

1) $\Delta \vec{v}_1 \uparrow \downarrow \Delta \vec{v}_2$

2) $\frac{|\Delta \vec{v}_1|}{|\Delta \vec{v}_2|} = \text{const}_{12} = \frac{m_2}{m_1}$, где m_2, m_1 – инертные массы точек ($m_{\text{ин}}$).

$$\boxed{\frac{|\Delta \vec{v}_1|}{|\Delta \vec{v}_2|} = \frac{m_2}{m_1}} \quad (1)$$

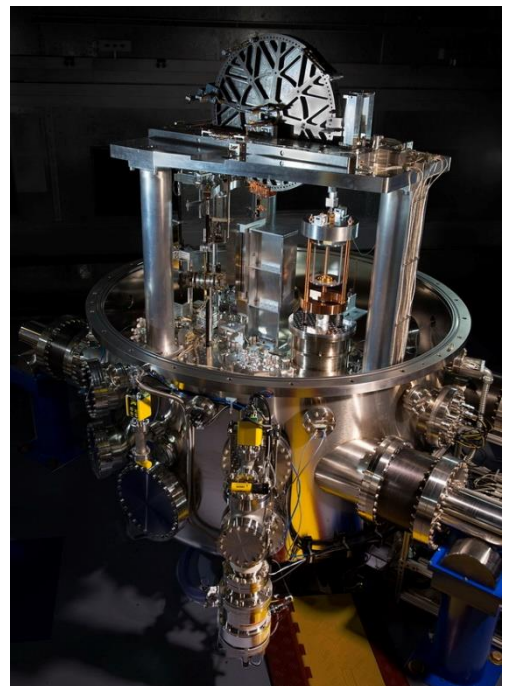
Если $m_1 = m_{\text{эталона}}$, тогда $m_2 = m_{\text{эталона}} \cdot \frac{|\Delta \vec{v}_{\text{эталона}}|}{|\Delta \vec{v}_2|} > 0$.



1 кг – единица массы.

1 кг – масса платиново-иридиевого цилиндра (эталона массы), хранившегося в палате мер и весов в Париже (до 20 мая 2019 года).

В настоящий момент эталон массы определяется через постоянную Планка: 1 кг должен быть таким чтобы $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$. Измерения эталона производятся с помощью специальных весов, где вес тела уравнивается электромагнитной силой (весы Киббла).

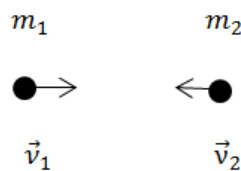


<https://nauka.tass.ru/nauka/6447724>

Свойства массы:

- 1) аддитивность – масса системы равна сумме масс ее частей: $m_{\text{системы}} = m_1 + \dots + m_N$;
- 2) в классической нерелятивистской механике $m = \text{const}$ (*inv* по отношению к движению).

Вернёмся к нашей замкнутой системе:



Пусть \vec{v}_1, \vec{v}_2 – значения скоростей точек в момент времени t , а \vec{v}'_1, \vec{v}'_2 – через некоторый промежуток времени Δt .

$$\Delta \vec{v}_1 = \vec{v}'_1 - \vec{v}_1; \quad \Delta \vec{v}_2 = \vec{v}'_2 - \vec{v}_2 \text{ – изменения скоростей точек.}$$

$$(1) \quad \Rightarrow \quad m_1 |\Delta \vec{v}_1| = m_2 |\Delta \vec{v}_2|$$

$$m_1(\vec{v}'_1 - \vec{v}_1) = -m_2(\vec{v}'_2 - \vec{v}_2), \text{ так как } \Delta \vec{v}_1 \uparrow \downarrow \Delta \vec{v}_2.$$

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$$

Пусть $m\vec{v} \stackrel{\text{def}}{=} \vec{p}$ – импульс тела (точки).

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$$

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \text{const} \text{ – закон сохранения импульса.}$$

В изолированной системе двух материальных точек импульс сохраняется.

Свойства импульса:

- 1) импульс – векторная величина. Импульс МТ равен $\vec{p} = m\vec{v}$;
- 2) аддитивность – импульс системы равен сумме импульсов ее частей:
$$\vec{p}_{\text{системы}} = \vec{p}_1 + \dots + \vec{p}_N;$$
- 3) импульс – сохраняющаяся величина.

Сила:

Рассмотрим материальную точку, на которую действуют другие тела. Её импульс может меняться, скорость его изменения называется силой:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} \stackrel{\text{def}}{=} \vec{F}$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{m d\vec{v}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} = \vec{F}$$

II закон Ньютона: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$

$\vec{a} = \vec{a}(\vec{r}, \vec{v})$; $\vec{F} = \vec{F}(\vec{r}, \vec{v})$ – функция состояния системы, функция, задачей определения которой занимается динамика.

Свойства силы:

- 1) существуют законы действия сил

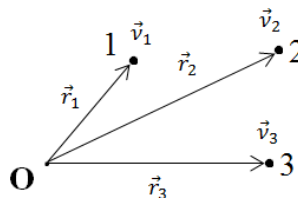
$$\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g},$$

$$\vec{F}_{\text{кул}} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \text{ и др.}$$

- 2) принцип суперпозиции

$$\vec{F} = \sum_i^N \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \dots + \vec{F}_N \text{ (все силы, действующие на тело)}$$

- 3) принцип «парности» сил



Взаимодействие любых двух тел системы зависит только от радиус-векторов и векторов скоростей этих тел:

$$\vec{F}_{12} = \vec{f}(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{v}_1, \vec{v}_2), \quad \vec{F}_{13} = \vec{f}^*(\vec{r}_1, \vec{r}_3, \vec{v}_1, \vec{v}_3).$$

Наличие других тел в системе никак не влияет на силу взаимодействия между первым и вторым телами.

- 4) равенство «действия» и «противодействия»

Рассмотрим замкнутую систему двух материальных точек.

В ней выполняется закон сохранения импульса: $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \text{const}$. Продифференцируем это выражение по времени:

$$\frac{d(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)}{dt} = \frac{d(\text{const})}{dt}$$

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} + \frac{d\vec{p}_2}{dt} = 0$$

Так как система замкнута, то импульс первой материальной точки может изменяться только под действием силы, действующей на первую точку со стороны второй:

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} \stackrel{\text{def}}{=} \vec{F}_{12},$$

И наоборот

$$\frac{d\vec{p}_2}{dt} \stackrel{\text{def}}{=} \vec{F}_{21}$$

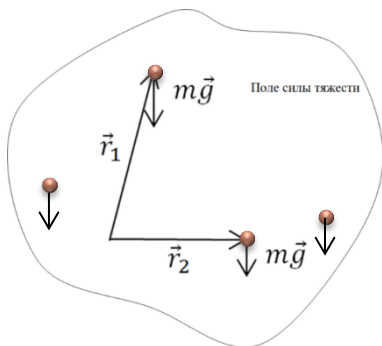
$$\vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} = 0$$

III закон Ньютона:	$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$
--------------------	--------------------------------

$$|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}|; \quad \vec{F}_{12} \updownarrow \vec{F}_{21}.$$

Сила измеряется в Ньютонах: $[F] = H$

5) «поле» силы



Если в любой точке пространства на тело действует сила какого-либо определённого для данного пространства вида, то можно говорить, что это тело находится в поле данной силы. Например, на Земле все тела находятся в поле силы тяжести.